



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Efectividad de la inclusión de restricción de flujo en
rehabilitación de reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior.
Revisión sistemática.

Effectiveness of the inclusion of flow restriction in
reconstruction rehabilitation of the Anterior Cruciate Ligament.
Systematic review.

Autora

Laura Martínez González

Directora

María Concepción Sanz Rubio

Universidad de Zaragoza

Facultad de Ciencias de la Salud

2020/2021

Resumen

Introducción. La rotura de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) es una importante patología que ocurre a nivel global. La prevalencia ha aumentado considerablemente en las últimas décadas y actualmente es uno de los mayores problemas en la población que practica deporte. Una alternativa de entrenamiento que está adquiriendo relevancia es el entrenamiento con restricción de flujo, ya que permite obtener dichas ganancias de fuerza e hipertrofia con menor carga y menor estrés mecánico.

Material y métodos. El presente trabajo es una revisión sistemática en la que se sintetizó la evidencia disponible sobre añadir restricción de flujo en el ejercicio terapéutico (ET) en pacientes con reconstrucción de LCA.

Resultados. En la revisión sistemática se encontraron un total de 25 artículos de los cuales solo 6 cumplían los criterios de selección. Algunos de los estudios mostraron mejoras al aplicar este tipo de intervención en alguna de sus variables, otros muchos no encontraron hallazgos significativos sobre la inclusión de esta técnica.

Conclusiones. La inclusión de BFR a un plan de rehabilitación de reconstrucción de LCA puede ser un tratamiento beneficioso ya que es capaz de mejorar la fuerza y la hipertrofia muscular. Aún así, no existe un protocolo estandarizado de intervención.

Palabras clave: ligamento cruzado anterior, ejercicio terapéutico, reconstrucción, restricción de flujo sanguíneo.

Abstract

Introduction. The rupture of the Anterior Cruciate Ligament (ACL) is an important pathology that occurs globally. The prevalence has increased considerably in recent decades and is currently one of the biggest problems in the population that practices sports. A training alternative that is gaining relevance is flow restriction training, since it allows obtaining these gains in strength and hypertrophy with less load and less mechanical stress.

Materials and methods. The present work is a systematic review in which the available evidence on adding flow restriction in therapeutic exercise (TE) in patients with ACL reconstruction was synthesized.

Results. In the systematic review, a total of 25 articles were found, of which only 6 met the selection criteria. Some of the studies showed improvements when applying this type of intervention in some of its variables, many others did not find significant findings on the inclusion of this technique.

Conclusions. The inclusion of BFR in an ACL reconstruction rehabilitation plan can be a beneficial treatment since it is capable of improving strength and muscular hypertrophy. Even so, there is no standardized intervention protocol.

Key words: anterior cruciate ligament, therapeutic exercise, reconstruction, blood flow restriction.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Factores influyentes en la rotura de LCA	7
1.2	Tratamiento quirúrgico	8
1.3	Rehabilitación	9
1.4	Restricción de flujo	10
2.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	11
3.	REVISIÓN SISTEMÁTICA	12
3.1	Material y métodos.....	12
3.1.1	Criterios de selección	12
3.1.2	Estrategia de búsqueda.....	12
3.1.3	Evaluación de la calidad metodológica	13
3.2	Resultados.....	14
3.3	Discusión.....	25
3.4	Limitaciones de la revisión sistemática.....	28
3.5	Conclusiones.....	28
4.	BIBLIOGRAFÍA	29
5.	ANEXOS.....	32
	Anexo 1. Escala PEDro.....	32
	Anexo 2. Diagrama de flujo.....	33

Abreviaturas

LCA: Ligamento Cruzado Anterior

ECA: Ensayo Clínico aleatorizado

ACLR: Anterior Ligament Cruciate Reconstruction

ET: Ejercicio terapéutico

MeSH: Medical Subject Headings

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analys

BFRT: Blood Flow Restriction

HL-RT: High training load

ACSA: Área de sección transversal anatómica

ROM: Range of Motion

1.INTRODUCCIÓN

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla es una lesión ligamentosa frecuente, especialmente en la práctica deportiva, siendo el mecanismo más común de lesión el trauma indirecto en el 70% de los casos, donde habitualmente están involucradas fuerzas de desaceleración, hiperextensión y rotación (1,2). Se calcula una incidencia de 0,4-0,8 lesiones por 1.000 habitantes. La rotura del LCA está relacionada con actividades deportivas como el fútbol, balonmano, esquí o baloncesto en un 65-75% de los casos. La edad media de los pacientes con esta patología es de 28-35 años. Si examinamos a las poblaciones de riesgo (fútbol, baloncesto, esquí...) la incidencia es mayor en mujeres que en hombres (2).

Se ha definido que la lesión del LCA es poco común que se presente de forma aislada. En el 40-45% de los casos está asociada con alguna lesión meniscal y aproximadamente el 30-35% está asociada con otra lesión ligamentosa (2).

Por lo tanto, el LCA es el ligamento que más se lesiona de la rodilla y por ello debemos llevar a cabo una buena rehabilitación posterior para darle una buena estabilidad a ésta.

En la actualidad, durante la rehabilitación los entrenamientos con restricción de flujo sanguíneo están adquiriendo mucha importancia como alternativa para el entrenamiento convencional de fuerza en pacientes que requieran de dichos beneficios o características de este método de entrenamiento.

1.1 Factores influyentes en la rotura de LCA

La causa de aumento de lesión del LCA es multifactorial y los factores de riesgo se han catalogado en: ambientales, anatómicos, hormonales y biomecánicos.

- Factores ambientales: La temperatura de las superficies, la fricción entre los materiales, y el diseño de las suelas puede ser un factor de riesgo de lesión del LCA. Estos factores afectan por igual a hombres y mujeres (3).
- Factores hormonales: Esta lesión se ha relacionado mucho con el momento del ciclo menstrual de la mujer. La incidencia lesional es mayor en la primera mitad del ciclo (fase preovulatoria) que en la segunda (fase postovulatoria) concentrándose el mayor número de lesiones en el periodo periovulatorio (días 10-14), momento en el cual el pico de estrógenos es más alto. Se han identificado receptores estrogénicos en los fibroblastos del LCA, donde la acción del estradiol disminuiría la síntesis de procolágeno en estos fibroblastos, disminuyendo así la fuerza ténsil del ligamento (4).
- Factores anatómicos: Las diferencias anatómicas entre el hombre y la mujer pueden ser un factor que contribuya a un incremento en el riesgo de lesión del LCA. Sin embargo, estos factores no son modificables y sobre ellos no se pueden aplicar medidas preventivas (3).
 - ❖ El ancho de la escotadura intercondílea en mujeres es de menor tamaño que en los hombres, sin embargo, esto no ha demostrado diferencias en el riesgo de lesión del LCA.
 - ❖ El menor diámetro del área transversal del LCA es un factor de riesgo de rotura para las mujeres.
 - ❖ El ángulo Q, cuyo valor normal es de 8 a 17°, es mayor en la mujer. Este aumento se debe a que generalmente la pelvis de la mujer es más ancha y el fémur más corto o que un ángulo Q elevado aumenta el estrés medial sobre los ligamentos de la rodilla.
 - ❖ El ángulo entre el tendón rotuliano y la tibia afecta a la fuerza de cizallamiento aplicada.

- Factores biomecánicos: Al realizar acciones deportivas como el aterrizaje con una sola pierna o cambios de direcciones durante la carrera, se produce una disminución de la flexión de la cadera, incremento de la rotación interna de la misma, incremento del valgo en rodilla y rotación externa de la tibia, lo que lleva a una menor estabilidad de la articulación de la rodilla. La ausencia de este control, provoca una mayor predisposición de deslizamiento del fémur sobre la tibia y mayor estrés del LCA. (3)

1.2 Tratamiento quirúrgico

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) es un procedimiento ortopédico común que se realiza habitualmente. Después de una rotura del LCA, el ACLR es el método de atención recomendado para restaurar la estabilidad de la articulación de la rodilla (3,5).

Actualmente, la reparación artroscópica es de elección frente a la cirugía abierta, pero sigue existiendo una gran controversia sobre cuál es el mejor procedimiento (2).

Para esta intervención se utiliza un autoinjerto o aloinjerto, uni o de doble banda. Esta se hace mediante la realización de uno o dos túneles tanto en la tibia como en el fémur, teniendo variadas alternativas para fijar el injerto a ambos extremos óseos. Esta intervención respeta la anatomía, tanto de los haces del injerto como la orientación y forma de los sitios de origen e inserción (6).

El tipo de injerto a utilizar en la reconstrucción del LCA siempre ha sido un tema controversial, desde la década de los setenta, el injerto más popular es el HTH, debido a sus características biomecánicas de mayor tensión y rigidez, en comparación con el ligamento natural (6).

1.3 Rehabilitación

Posteriormente a la cirugía, es necesaria una fase de descarga parcial de la articulación y de carga limitada de peso, lo que conllevará atrofia de los músculos de las extremidades inferiores y la reducción del volumen del músculo cuádriceps. La disfunción del cuádriceps puede dar lugar a patrones motores anormales, impactando las actividades de la vida diaria y aumentando el riesgo de una nueva lesión. Por ello, es muy importante la posterior rehabilitación que se lleve a cabo (7).

El objetivo principal de la rehabilitación es devolver al paciente a su nivel de función anterior a la lesión con un riesgo bajo de que vuelva a recaer. Los protocolos de rehabilitación han evolucionado, llevando a cabo entrenamientos con carga de peso progresiva, teniendo en cuenta el tiempo después de la cirugía hasta la recuperación del rango total de movimiento (ROM) (8).

La recuperación de una rotura de LCA generalmente lleva unos seis meses, aunque esto variará dependiendo de la persona. Para la total recuperación de la fuerza y que la plastia iguale las capacidades mecánicas del ligamento pueden pasar de 12 a 18 meses (9).

Durante la rehabilitación encontramos 3 fases. La primera fase empezará a las 2-4 semanas post-intervención y se realizarán isométricos para la reactivación del músculo cuádriceps. Posteriormente se añadirán ejercicios concéntricos y excéntricos en cadena cinética abierta o cerrada. Los ejercicios en CAA reducen la tensión en la plastia H-T-H, por lo que serán más beneficiosos en el plan de entrenamiento. La segunda fase comenzará a las 6-8 semanas post cirugía, se seguirán realizando ejercicios excéntricos o concéntricos en un rango de movimiento completo y aumentado la resistencia de éstos. Por último, la tercera fase empezará entre las 8-16 semanas y se hará una readaptación de los ejercicios dependiendo la vida o el deporte que practique (10). Es muy importante que durante este proceso haya un trabajo neuro cognitivo muscular ya que conlleva una fase cognitiva, asociativa y autónoma.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que la cicatrización de LCA es vulnerable durante las primeras fases de la rehabilitación por lo que hay que proponer ejercicios que no produzcan niveles de tensión suficientes para poner en peligro la integridad estructural del injerto (11).

1.4 Restricción de flujo

El entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo tiene su origen hace 30 años en Japón, donde Yoshiaki Sato lo popularizó sobre 1985 comercializándolo como entrenamiento KAATSU. La característica principal de este tipo de entrenamiento consiste en aplicar una presión que alcance o supere la tensión arterial sistólica. Para ello, se ha recomendado el empleo de manguitos de oclusión en los que se regularía la presión en función de la anchura y el tamaño del manguito y de la extremidad, soliendo variar ésta entre valores de 100 a 200 mmHG (12).

Una de las principales diferencias del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo reside en su capacidad para favorecer el reclutamiento de unidades musculares tipo II ante bajas intensidades de trabajo. Este tipo de fibras musculares son de contracción rápida y tienen un diámetro relativamente mayor y un umbral de estimulación más alto que las otras. Dicho reclutamiento podría deberse a la situación de hipoxia localizada que requiere aumentar el metabolismo anaeróbico láctico para poder hacer frente a la resíntesis de ATP. La imposibilidad de retorno de la sangre venosa, hace que el volumen sistólico disminuya y que, como consecuencia, tanto la frecuencia cardíaca como la tensión arterial tengan que elevarse con objetivo de normalizar el gasto cardíaco. Durante este proceso se crea la acumulación de líquido extracelular y metabolitos, que incluye lactato, proporcionando ácido intramuscular y así creando la secreción de la hormona del crecimiento (GH) (12,13).

El entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo (BFRT) es una técnica de fortalecimiento muscular en la que se aplica un torniquete a la parte proximal del músculo que se va a entrenar para comprimir las estructuras vasculares subyacentes durante el ejercicio. La compresión de las estructuras vasculares permite la entrada de flujo de sangre arterial hacia la extremidad, pero restringe el retorno venoso (5). La presión óptima aplicada varía en cada individuo y depende en gran medida del volumen de la extremidad y del ancho del manguito.

El porcentaje óptimo de presión es un tema debatido; sin embargo, los estudios anteriores determinaron que se obtuvieron efectos similares sobre el desarrollo muscular al 40% de la AOP en comparación con el 90% (13).

Uno de los beneficios propuestos de la BFRT es la capacidad de hacer ejercicio a baja intensidad, para lograr mejoras de fuerza e hipertrofia similar a las de los pacientes que realizan ejercicio de alta intensidad. Por eso, BFRT es una intervención atractiva para los pacientes poco después de la cirugía de rodilla cuando no se puede completar el ejercicio de alta intensidad debido a la cicatrización del tejido y al dolor (5).

Por tanto, la utilización de BFRT puede ser una herramienta válida para la rehabilitación del LCA. Por ello, es muy importante realizar estudios sobre ésta técnica para afirmar o desmentir los beneficios que puede dar.

2.OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo ha sido realizar una revisión sistemática sobre la eficacia de la inclusión de BFR en ejercicio terapéutico en reconstrucción de ligamento cruzado anterior, como objetivos secundarios se establecen; evaluar si la restricción de flujo tiene efectos sobre las variables de dolor, fuerza e hipertrofia y analizar qué metodología y dosificación de ejercicio de BFRT es más beneficiosa.

La hipótesis general de este trabajo es que añadir restricción de flujo en ejercicio terapéutico es más beneficiosa para la recuperación en pacientes con reconstrucción de LCA frente a pacientes que realicen rehabilitación convencional.

3. REVISIÓN SISTEMÁTICA

3.1 Material y métodos

Se realizó una revisión sistemática de los ensayos clínicos aleatorizados (ECAS) siguiendo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (14).

3.1.1 Criterios de selección

Los criterios de inclusión que se establecen son todos aquellos ECAS que estudien el beneficio de añadir restricción de flujo en ejercicio terapéutico en personas con reconstrucción de LCA. Los participantes de los ECAS deben tener edades comprendidas entre los 18 y 65 años. Los estudios deben incluir al menos un grupo con reconstrucción de LCA, los artículos deben estar publicados en inglés o en español, para ser considerados en esta revisión.

Se excluyen aquellos ECAS en los que participasen personas con otro tipo de patologías de rodilla concomitantes (afectación de meniscos, ligamentos laterales etc.), sujetos en los que no se haya optado un tratamiento quirúrgico de LCA así como los estudios publicados en otros idiomas.

3.1.2 Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PUBmed, PEDro y Cochrane durante los meses de diciembre y febrero del 2021.

Las estrategias de búsqueda se basaron en los criterios de elegibilidad descritos anteriormente. Se utilizaron términos *Medical Subject Headings* (MeSH), palabras clave y operadores booleanos para refinar la búsqueda. A continuación, se muestran las combinaciones utilizadas:

PUBMED	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]) AND ("Exercise Therapy"[Mesh] OR "strength training" OR "resistance training" OR "exercise training") AND ("blood flow restriction" OR "vascular occlusion" OR "kaatsu")
PEDRO	Anterior Cruciate Ligament AND Blood Flow Restriction
COCHRANE	"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction" AND ("Exercise Therapy" OR "strength training" OR "resistance training" OR "exercise training") AND ("blood flow restriction" OR "vascular occlusion" OR "kaatsu")

Tabla 1. Estrategias de búsqueda electrónica.

Una vez realizada la búsqueda, se obtuvieron un total de 25 resultados, de los cuales 13 estaban repetidos. De los 12 restantes, se procedió a leer título y resumen. Posteriormente quedaron 7 resultados que fueron analizados a texto completo. Finalmente, 6 artículos fueron válidos para la revisión sistemática.

3.1.3 Evaluación de la calidad metodológica

Con el fin de evaluar la calidad metodológica de los artículos seleccionados, se utilizó la escala PEDro. Dicha escala cuenta con un protocolo de evaluación de 11 criterios (Véase anexo 1). El criterio 1, no se utiliza para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro. Los estudios con una puntuación igual o mayor a 6/10, se considerarán de alta calidad, mientras que una puntuación igual o menor a 5/10, se considera de baja calidad metodológica (15).

3.2 Resultados

Tras la búsqueda bibliográfica y la aplicación de los filtros anteriormente descritos, de los 25 artículos iniciales finalmente fueron elegidos para esta revisión (6) ECAS. En la evaluación del riesgo de sesgo a través de la escala de PEDro la puntuación media es de 6,8/10, lo que indicaría una calidad metodológica alta. A continuación, se muestra una tabla con los estudios seleccionados y su evaluación de la calidad (Tabla 2).

Estudio	1. Criterio de selección	2. Asignación aleatoria	3. Asignación oculta	4. Grupos similares al inicio	5. Participantes cegados	6. Terapeutas cegados	7. Asesor cegado	8. >15% pérdidas	9. Análisis por intención a tratar	10. Comparación entre grupos	11. Resultados clave	Total (0 a 10)
Lambert B et al. (2019)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Michael T. Curran et al. (2020)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Luke Hughes et al. (2019)	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	8
Erik Iversen et al. (2016)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Luke Hughes et al. (2018)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Ohta Haruyasu et al. (2003)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6

+ "sí"; - "No"

Tabla 2. Evaluación de la calidad metodológica de los estudios seleccionados

En la tabla 3 se resumen las principales características de cada uno de los estudios. Para extraer la información se establecieron los siguientes datos: diseño de estudio, tamaño muestral, temporalidad y seguimiento, características de la intervención, variables y resultados significativos.

La población estudiada fue de 170 sujetos, todos ellos con reconstrucción de LCA menos un grupo de 10 personas que no tenían lesión. La edad media de los sujetos osciló entre los 18 y 50 años. Los estudios se basaron en la combinación de ejercicio terapéutico, ejercicios excéntricos, concéntricos, de baja carga o de alta carga, combinados con la restricción de flujo de la pierna operada y en el caso del grupo no lesionado de su pierna dominante.

Autor/ Año	Participantes	Intervención			Resultados
	F:M	Temporalidad	Protocolo	Variables	
Lambert B et al. (2019)	GC (n=7)	Intervención: 10 días. Seguimiento: 8 y 12 semanas.	Ejercicio: press de piernas bilateral. 4x15 (20% RM) Descanso: 30"	Masa grasa total Masa magra de la pierna Masa ósea de la pierna DMO del fémur distal, tibia proximal y peroné proximal.	Los resultados obtenidos fueron que la adición de BFR a los ejercicios de rehabilitación recuperan en mayor medida el músculo y tienen un efecto protector sobre el hueso.
	GI (n=7)		BFRT + Ejercicio: press de piernas bilateral. 4x15 (20% RM) Descanso: 30"		

Michael T. Curran et al. (2020)	G1 (n=9) 4:5	Intervención: 10 semanas del posoperatorio. Seguimiento: 8 semanas	Ejercicio concéntrico Repeticiones: series 2 a 5 de prensa de piernas Intensidad: intensidad concéntrica (extender pierna). Descanso: 2' Sesiones: 16	Fuerza muscular del cuádriceps isométrica e isocinética. Volumen del músculo recto femoral (ECO) Índice de activación central del músculo (CAR) = MVIC/SIB	La BFRT con ejercicio de resistencia de alta intensidad agregado a un programa de rehabilitación del LCA no mejoró significativamente la recuperación de la fuerza o activación del cuádriceps. No hubo diferencias significativas entre grupos.
	G2 (n=9) 4:5		Ejercicio excéntrico Repeticiones: series 2 a 5 del press de piernas Intensidad: intensidad excéntrica establecida en el 70% de la 1RM y la intensidad concéntrica mantenida en el 20%. Descanso: 2' Sesiones : 16		
	G3 (n=8) 5:3		BFRT + Ejercicio Concéntrico Repeticiones: series 2 a 5 de prensa de piernas Intensidad: intensidad concéntrica. Descanso: 2' Sesiones: 16		
	G4 (n=8) 6:2		BFRT + Ejercicio excéntrico Repeticiones: series 2 a 5 del press de piernas Intensidad: intensidad excéntrica establecida en el 70% de la 1RM y la intensidad concéntrica mantenida en el 20%. Descanso: 2' Sesiones:16		

Luke Hughes et al. (2019)	G0 (n=12) 5:7	Intervención: 2 semanas.	<p>BFR-RT</p> <p>Entrenamiento: prensa de piernas unilateral con peso autoseleccionado.</p> <p>Calentamiento: 5' de bici y 10 repeticiones de prensa unilateral.</p> <p>Sesiones: 2 veces por semana separadas por 48h, en total 16 sesiones.</p>	<p>Fuerza muscular</p> <p>Morfología muscular</p> <p>Función física</p> <p>Derrame</p> <p>Laxitud rodilla</p> <p>Dolor</p> <p>ROM</p>	<p>La BFR-RT puede mejorar la hipertrofia, la fuerza del músculo, la reducción del dolor y habrá menor derrame. Por tanto es apropiado para la rehabilitación temprana en ACLR.</p>
	G1 (n=12) 2:10	Seguimiento: 8 semana.	<p>+ Rehabilitación estándar, 3 días a la semana en casa.</p> <p>HL-RT (resistencia con cargas pesadas con cargas externas del 65-70% de 1RM):</p> <p>Entrenamiento: prensa de piernas unilateral con peso autoseleccionado.</p> <p>Calentamiento: 5' de bici y 10 repeticiones de prensa unilateral.</p> <p>Sesiones: 2 veces por semana separadas por 48h, en total 16 sesiones.</p> <p>+ Rehabilitación estándar, 3 días a la semana en casa.</p>		
Erik Iversen et al. (2016)	GI (n=12) 5:7	Intervención: día 2 después de la cirugía.	<p>BFRT + ejercicio: contracciones isométricas de cuádriceps, elevación pierna recta y extensión de la pierna sobre un giro de rodilla.</p> <p>Repeticiones: 20 repeticiones durante 5' de oclusión.</p>	ACSA	<p>La aplicación de restricción del flujo sanguíneo los primeros 14 días después de la reconstrucción del</p>

		Seguimiento: 5, 10 días y por último 16 días.	Total: 100 repeticiones por entrenamiento y 200 reps. por día. Descanso: 3'.		LCA no reduce la atrofia muscular del cuádriceps.
	GC (n=12) 5:7		Ejercicio: contracciones isométricas de cuádriceps, elevación pierna recta y extensión de la pierna sobre un giro de rodilla. Repeticiones: 20 repeticiones durante 5' de oclusión. Total: 100 repeticiones por entrenamiento y 200 reps. por día. Descanso: 3'.		
Luke Hughes et al. (2018)	G1 (n=10) 0:10	Intervención: 22 días.	NI-BFR: Individuos no lesionados que realizan RE de carga ligera con BFR. (extremidad dominante) Calentamiento: 5' bici, 10 reps. en uni-press-leg + 5' rest. Trabajo: prensa de pierna unilateral Baja carga: 4 series de (30,15,15,15 repeticiones) 30s rest. entre serie, 30% 1RM.	Presión arterial Esfuerzo percibido (RPE) Dolor (escala RPP)	Este modo de ejercicio puede ser favorable en el dolor de rodilla durante y durante un programa de entrenamiento. El RPE fue mayor en el grupo de ACLR-BFR en comparación con el grupo de BFR sin lesiones, pero similar al grupo de
	G2 (n=10) 4:6		ACLR-BFR: Pacientes con ACLR que realizan RE con carga ligera. Calentamiento: 5' bici, 10 reps. en uni-press-leg + 5' rest. Trabajo: prensa de pierna unilateral		

			Baja carga: 4 series de (30,15,15,15 repeticiones) 30s rest. entre serie, 30% 1RM.		ACLR-HL. El dolor muscular fue mayor en ambos grupos BFR en comparación con el grupo ACLR-HL.
	G3 (n=10) 3:7		ACLR-HL: Pacientes con ACLR que realizan una RE de carga pesada. Calentamiento: 5' bici, 10 reps. en uni-press-leg + 5' rest. Trabajo: prensa de pierna unilateral Alta carga: 3x10 con 30s rest, con 70% 1RM.		
Ohta Haruyasu et al. (2003)	GN (n=22) 10:12	Intervención: 2 semanas. Seguimiento: antes y 16 semanas después.	Ejercicio: <u>elevación pierna estirada</u> Carga: <ul style="list-style-type: none"> - Semana 1; sin carga - Semana 2-4; 1kg - Semana 5-8 2kg <u>Abducción de la articulación de la cadera (pelota)</u> Repeticiones: 20 veces Tiempo: 5" Sesiones: 2 series diarias, 6 veces x semana. <u>Media sentadilla:</u> Tiempo: 6" Repeticiones: 20 veces <u>Step- up:</u> Repeticiones: 20 veces Series 3 veces diarias x 6 veces semana <ul style="list-style-type: none"> - Semana 5-6: sin carga - Semana 7-8; 4 a 6 Kg 	Fuerza músculos extensores y flexores de rodilla. ACSA Tipo de fibra muscular.	El entrenamiento durante la restricción moderada del flujo sanguíneo es eficaz en la rehabilitación después de la reconstrucción del LCA. Varios problemas quedaron sin resolver, como la incomodidad o el dolor durante el entrenamiento debido al torneo, y los posibles

			<ul style="list-style-type: none"> - Semana 9-12; 8 a 10 Kg - Semana 13 a 16; 12 a 14 Kg <u>Ejercicio tubo elástico</u> Repeticiones: 20 veces Series: 1 serie diaria, 6 veces semana y 2 series diarias a partir de semana 13-16 <u>Caminar con flexión de rodillas</u> Series: 3 series diarias, 6 veces por semana.		efectos en la circulación como trombosis y edemas.
	GR (n=22) 9:13		A partir de la semana 2: BFRT + ejercicio. Ejercicio: <u>elevación pierna estirada</u> Carga: <ul style="list-style-type: none"> - Semana 1; sin carga - Semana 2-4; 1kg - Semana 5-8 2kg <u>Abducción de la articulación de la cadera (pelota)</u> Repeticiones: 20 veces Tiempo: 5" Sesiones: 2 series diarias, 6 veces x semana. <u>Media sentadilla:</u> Tiempo: 6" Repeticiones: 20 veces <u>Step- up:</u> Repeticiones: 20 veces Series 3 veces diarias x 6 veces semana <ul style="list-style-type: none"> - Semana 5-6: sin carga - Semana 7-8; 4 a 6 Kg - Semana 9-12; 8 a 10 Kg - Semana 13 a 16; 12 a 14 Kg <u>Ejercicio tubo elástico</u>		

			Repeticiones: 20 veces Series: 1 serie diaria, 6 veces semana y 2 series diarias a partir de semana 13-16 <u>Caminar con flexión de rodillas</u> Series: 3 series diarias, 6 veces por semana.		
--	--	--	---	--	--

Tabla 3. Resumen de los estudios incluidos.

Grupo control (GC); grupo intervención (GI); blood flow restriction training (BFRT); high load training (HL-RT); reconstrucción ligamento cruzado anterior (ACLR); contracciones isométricas voluntarias máximas (MVIC); técnica de ráfaga superpuesta en cuádriceps (SIB); knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KIOOS); rate of perceived exertion o índice de esfuerzo percibido (RPE); rate pressure product (RPP).

En cuanto a las variables, una de las más estudiadas fue la fuerza, que fue evaluada por Hughes et al. 2019 (8), Curran et al. (5) y Ohta et al. (16). Se midió en la flexión (8,16) y la extensión de rodilla (5,8,16), donde hubo mejoras significativas en dos de los estudios con BFRT(8,16). Además de la fuerza también se estudió la activación muscular (5) a través de un dinamómetro con la técnica de la ráfaga superpuesta y también analizaron los tipos de fibra muscular (16) con un sistema de imágenes Kontron, sin cambios significativos entre los grupos.

Otra de las variables estudiadas fue el dolor. Se evaluó a través de la escala Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (8) y RPP (rate pressure product) (17). En el estudio de Hughes et al. 2019 (8) el dolor KOOS disminuyó significativamente sin diferencia entre los grupos. Por otro lado, se analizó el dolor de rodilla, donde fue menor en BFRT con baja carga y el dolor muscular, donde había mayor dolor en BFRT con alta carga.(17)

Por otro lado, también fue estudiado el ACSA, área de sección transversal anatómica del cuádriceps a través de resonancia magnética (16,18). En el estudio de Iversen et al. (18) no hubo diferencias significativas entre los grupos ni tampoco entre mujeres y hombres. Ohta et al.(16) encontraron diferencias significativas con BFRT en los músculos extensores del cuádriceps pero no en los flexores ni aductores.

La morfología muscular se midió a través de una ecografía (5,8), donde se estudió el grosor del músculo, el ángulo de penetración y la longitud del fascículo del vasto lateral. Obtuvieron hallazgos significativos en el volumen del músculo recto femoral en el estudio de Curran et al (5). Lambert et al.(19) utilizaron la DEXA para medir la masa magra, donde no reportaron mejoras en la inclusión de BFRT.

Metodología de los estudios

Todos los estudios realizaron un entrenamiento de fuerza donde un grupo recibía la inclusión de BFRT y otro sin BFRT. Se llevó a cabo un protocolo de fuerza donde realizaban un press de pierna unilateral (5,8,17) o bilateral (19). Otros estudios utilizaron otra variedad de ejercicio como es la contracción isométrica de cuádriceps (18), elevación de la pierna recta (16,18) o la media sentadilla (16) entre otros más. Dos de los estudios realizaron un calentamiento antes del entrenamiento de fuerza que constaba de 5' de bicicleta, más una serie de press leg. (8,17). Todos los participantes habían sido intervenidos con una media de 10 días (entre 2 días y 2 semanas) postoperación y se realizó un seguimiento como mínimo de 2 semanas y como máximo de 3 meses.

La intensidad para realizar el ejercicio osciló entre el 20% y el 70% del RM realizando repeticiones muy variadas entre los estudios (75 repeticiones, 60 y un máximo de 100 repeticiones por sesión (18). Curran et al. (5) y Hughes et al. (2019) (8) realizaron el entrenamiento de fuerza dos veces por semana con un total de 16 sesiones. Iversen et al.(18) realizó un protocolo de 16 días donde los participantes entrenaban dos veces al día. Respecto a los tiempos de descanso dos de los estudios dejaron un descanso de 30" entre las series (17,19), por otro lado Iversen et al.(18) dejaron 3' y Curran et al. (5)2'.

Todos los estudios colocaron el manguito en la parte proximal del muslo de la pierna operada. Hughes et al.(2019) (8) y Hughes et al.(2018) (17) ajustaron de forma automática la presión a través de unos sensores de cálculo de LOP. Esta presión iba aumentando de forma escalonada y se estableció la presión de BFRT en el 80% de la presión de oclusión total de la extremidad (5). Ohta et al. (16) aplicaron una presión de 180mmHg aproximadamente, en cambio Iversen et al. (18) fijaron una presión inicial de 130mmHg con un aumento de 10mmHg cada dos días, hasta una presión máxima de 180mmHg.

3.3 Discusión

El objetivo de la revisión bibliográfica fue sintetizar la evidencia sobre la inclusión de restricción de flujo en reconstrucción de LCA. Los resultados revelan que la combinación de BFRT con ejercicio terapéutico tiene resultado positivos en las variables de fuerza y morfología muscular.

3.3.1 Fuerza

En la variable de fuerza se ha podido comprobar como la inclusión de BFRT tiene un efecto limitado de mejora o no tiene efectos en la ganancia en una rehabilitación de LCA. En el estudio de Hughes et al. 2019(8) se encontraron mejoras significativas en la ganancia de fuerza cuando se aplicó un enteramiento en cadena cinética abierta a un protocolo de rehabilitación. Esto puede ser debido a las diferencias en el torque muscular cuando se compara la cadena cinética abierta y la cerrada. Estos datos son similares a los estudiados anteriormente por Tagesson et al.(20), donde encontraron que el ejercicio de cuádriceps en CCA fue más efectivo que el ejercicio de cuádriceps CCC para restaurar la fuerza del músculo cuádriceps. Resultados similares se obtuvieron en el estudio de Ohta et al.(16).

Por otro lado, Curran et al.(5) no obtuvo diferencias significativas en la variable de fuerza. Los autores exponen que esto puede deberse a las presiones de oclusión utilizadas en la extremidad inferior. En el presente estudio realizaron un entrenamiento de alta intensidad y utilizaron una presión de oclusión de la extremidad del 80% de cada participante, mientras que en otros estudios utilizaron presiones oclusivas más altas, lo que puede suponer que no haya habido una mejora significativa en este estudio.

Otro de las posibles causas que describen los autores por la que no hubo mejoras significativas en la fuerza es la utilización de cargas de alta intensidad ($>70\%RM$). En cambio, la presión de oclusión con ejercicios de baja intensidad ($20\%RM$) sí que ha demostrado mejoras en la fuerza muscular en participantes sanos. (5).

3.3.2 Dolor

En las investigaciones que estudiaron el dolor, se pudo comprobar como en el grupo intervención (BFRT) se encontró mayor puntuación en la escala del dolor frente al grupo control.

Diversos autores sostienen que puede haber un aumento de la activación de metabolitos debido a la oclusión venosa y a la hipoxia (17). Takarada et al.(21) hablan de que la BFR puede estimular las fibras III y IV aferentes, provocando así un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático y provocando más dolor. Esto también puede deberse a que en el estudio de Hughes et al.(2018) (17) utilizaron presiones de restricción más altas y además se realizó un mayor volumen total de trabajo por parte de los grupos BFRT.

Hughes et al. (2019) (8) observaron mayores reducciones en el dolor KOOS en el grupo de ACLR-BFR, lo que puede atribuirse a la carga más ligera utilizada en el estudio (30%RM). Esto se confirma en estudios como el de Bryk et al. (22), donde afirman que la realización de ejercicios a baja carga reducen el dolor y mejoran la fuerza.

Investigaciones recientes también sugieren que la utilización de BFR puede tener un efecto de hipoalgesia particularmente en pacientes con ACLR, donde se encontró que el dolor de rodilla se redujo inmediatamente después y a las 24 h en comparación con HL-RT.(17)

Por otro lado, la mejora del dolor se asoció con la mejora de la función física (8). En otros estudios como en el de Pietrosimone et al. (23) también se asoció la mejora del dolor con una mejora de la función física auto informada. A demás, la aplicación de BFRT contribuye a una mejora del ROM debido a una reducción del dolor. Esto puede observarse en el estudio de Ohta et al. (16) y Curran et al.(5).

3.3.3 Morfología

Respecto a la morfología muscular, Iversen et al. (18) no encontraron diferencias significativas entre los grupos en el área de sección transversal del músculo cuádriceps (ACSA). Sí que encontraron una pérdida mayor de masa muscular en las mujeres respecto a los hombres. Esto puede verse afectado ya que utilizaron un manguito más ancho que los estudios anteriores y no utilizaron el ajuste individual de la presión restrictiva del manguito. Otra de las causas puede ser por una muy baja intensidad de trabajo, lo que no provocará una reducción de la atrofia.

Los autores de este estudio sostienen que la utilización de métodos más precisos como la cuantificación de volumen muscular es una medida más óptima que la ACSA por lo que quizá tampoco encontraron mejoras significativas.

Por otro lado, Ohta et al.(16) observaron una tendencia al agrandamiento muscular en el grupo de BFRT a pesar del entrenamiento de baja carga. El área de la sección transversal del isquiotibial y los músculos aductores mostraron un grado más leve de atrofia que el músculo cuádriceps en los dos grupos. En el presente análisis del área de la sección transversal muscular, no pudieron evaluar los grupos de músculos flexores y aductores de la rodilla por separado. Esto se debe a que la morfología del músculo isquiotibial cambió después de que se extrajo el tendón del músculo semitendinoso para el injerto, por lo que los 2 grupos de músculos no pudieron distinguirse claramente en la resonancia magnética.

Luke Hughes et al. (2019) (8) no encontraron un efecto de interacción estadísticamente significativo para el grosor muscular, el ángulo de separación o la longitud del fascículo. Estos datos siguen la línea de investigaciones anteriores (24). Estos pequeños cambios se deben probablemente a la duración de entrenamiento corta. Como los cambios en la longitud del fascículo están asociados con actividades de alta tensión / velocidad, la falta de cambio en la longitud del fascículo no es sorprendente, lo que sugiere que la remodelación arquitectónica observada fue específica de la demanda impuesta.

3.4 Limitaciones de la revisión sistemática

Una de las limitaciones que presenta esta revisión es la exclusión de aquellos artículos que no estuvieran disponibles en inglés o español provocando así, un posible sesgo de idioma. Otra limitación fue la escasa existencia de estudios sobre la eficacia de la inclusión de la restricción de flujo en población con reconstrucción de LCA. A demás, la utilización de diferentes protocolos en las intervenciones de BFRT hace difícil evaluar la eficacia de esta técnica.

3.5 Conclusiones

Como conclusiones de la revisión sistemática, parece ser más efectivo, aunque se necesiten más estudios para comprobarlo, que la inclusión de restricción de flujo en un programa de rehabilitación en reconstrucción de LCA mejora en medida la fuerza y la hipertrofia muscular. Por otro lado, este tipo de técnica produce más dolor durante la recuperación a comparación de una rehabilitación estándar.

Después de analizar los estudios, está comprobado que es muy importante que el manguito tenga un ajuste individualizado adaptado al volumen de la extremidad y una presión más o menos de 180mmHG. También hay tener en cuenta que el volumen de trabajo debe adaptarse a la situación y al momento del paciente.

Por lo tanto, para llevar a cabo un plan de rehabilitación con BFR se puede afirmar que los ejercicios recomendados serán en cadena cinética abierta y a baja carga (30%RM) ya que provocará un aumento del volumen muscular sin crear un estrés muscular.

En conclusión, la inclusión de BFR en un programa de rehabilitación en reconstrucción de LCA tiene efectos beneficiosos en la ganancia de fuerza e hipertrofia, dando lugar así a mejores resultados en comparación con un entrenamiento convencional. A pesar de ello, son necesarias más líneas de investigación que estudien este tipo de técnica.

4. Bibliografía

1. Rabat J. C, Delgado P. G, Bosch O. E. Signos de rotura del ligamento cruzado anterior en radiografía simple. Rev Chil Radiol. 2008;14(1):11-3.
2. Sánchez-Alepuz E, Miranda I, Miranda FJ. Functional evaluation of patients with anterior cruciate ligament injury. A transversal analytical study. Rev Esp Cir Ortop Traumatol [Internet]. 2020;64(2):99-107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recot.2019.10.004>
3. Lluna Llorens ÁD, Sánchez Sabater B, Medrano Morte I, García García EM, Sánchez López S, Abellán Guillén JF. Rotura del ligamento cruzado anterior en la mujer deportista: factores de riesgo y programas de prevención. Arch Med del Deport. 2017;34(5):288-92.
4. Yanguas Leyes J, Til Pérez L, Cortés de Olano C. Lesión del ligamento cruzado anterior en fútbol femenino. Estudio epidemiológico de tres temporadas. Apunt Med l'Esport. 2011;46(171):137-43.
5. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa M V., Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. Am J Sports Med. 2020;48(4):825-37.
6. Orizola A, Cl H. Rtrucción de ligamento cruzado anterior de rodilla en mujeres depeconsortistas Anterior cruciate ligament reconstruction in female athletes. 2012;23(3):319-25.
7. Garin-Zertuche D, Reyes-Padilla E, Penagos-Paniagua A. Lesión del ligamento cruzado anterior. Opciones actuales de tratamiento en el deportista. Medigraphic [Internet]. 2016;12(2):88-95. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2016/ot162c.pdf>

8. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sport Med* [Internet]. 2019;49(11):1787-805. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>.
9. Janssen RPA, Scheffler SU. Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(9):2102-8.
10. Tras R, Del R, Con LCA. Rehabilitación tras reconstrucción del lca con plastia h-t-h. 2009;365-81.
11. Luque-seron JA. una revisión sistemática. 2016;8(5):451-5.
12. Reina-Ramos C, Domínguez R. Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular. *RICYDE Rev Int Ciencias del Deport*. 2014;10(38):366-82.
13. Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. dónde vamos. 2019;00(00):1-8.
14. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Grupo PRISMA. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2014;18(3):172-181 Revista.
15. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713-21.
16. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Ohta H, et al. Entrenamiento muscular de resistencia de baja carga con restricción moderada del flujo sanguíneo después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior Haruyasu Ohta , Hisashi Kurosawa , Hiroshi Ikeda , Yoshiyuki Iwase , Naohiro Satou y Shinji Entren. 2003;6470.

17. Hughes L, Paton B, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Ther Sport*. 2018;33:54-61.
18. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Heal Sci*. 2016;5(1):115-8.
19. Lambert B, Hedt CA, Jack RA, Moreno M, Delgado D, Harris JD, et al. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction. *Orthop J Sport Med*. 2019;7(3_suppl2):2325967119S0019.
20. Tagesson S, Öberg B, Good L, Kvist J. A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in closed versus open kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficiency: A randomized clinical trial evaluating dynamic tibial translation and muscle function. *Am J Sports Med*. 2008;36(2):298-307.
21. Takarada Y, Nozaki D, Taira M. Force overestimation during tourniquet-induced transient occlusion of the brachial artery and possible underlying neural mechanisms. *Neurosci Res*. 2006;54(1):38-42.
22. Bryk FF, dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury R de PL, et al. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1580-6.
23. Pietrosimone B, Lepley AS, Harkey MS, Luc BA, Blackburn JT, Gribble PA, et al. . . . Publicado antes que Print. 2016;
24. K K, T K, T I, N T, Y S. Efecto del entrenamiento de resistencia de baja carga con oclusión vascular sobre las propiedades mecánicas de músculos y tendones. *Appl Biomech*. 2006;22:112-9.

5. Anexos

Anexo 1. Escala PEDro

Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/>	donde:

Anexo 2. Diagrama de flujo

